

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-211473

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int.Cl. G01C 15/00

E21D 9/06

G01B 11/00

G01C 3/06

G01C 19/00

G09B 29/10

(21)Application number : 10-010690 (71)Applicant : KOMATSU LTD



(22)Date of filing : 22.01.1998 (72)Inventor : MIZUI SEIICHI

(54) TOPOGRAPHIC FORM MEASURING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently measure the topographic form of a part where a vehicle can not travel such as mine, natural ground, or heading.

SOLUTION: This device has visual camera means 2 for measuring the distance to a topography to be measured and absolute position detecting means 4 for detecting the three-dimensional absolute position of a vehicle, which are mounted on the vehicle; topographic coordinate measuring means 3 for finding the three-dimensional position data in a vehicle body coordinate system of the topography to be measured on the basis of the image pickup data of the visual camera means 2; coordinate converting means 7 for converting the three-dimensional position data in the body coordinate system of the topography to be measured by the topographic coordinate measuring means 3 by use of the detection data of the absolute position detecting means 4 into the

three-dimensional position data in an absolute coordinate system; image pickup position instructing means 7 for instructing plurality of vehicle positions for taking the images of the topography to be measured by the image pickup means; and topographic data forming means 7 for composing the converted data of the coordinate converting means 7 based on the image pickup data of the visual camera means 2 in a plurality of different vehicle positions instructed by the image pickup position instructing means 7 to form the topographic data of the topography to be measured.

LEGAL STATUS [Date of request for examination] 25.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3720972

[Date of registration] 16.09.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JP0 and NCIPi are not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not
reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] While carrying the vision camera means for measuring the distance to
the geographical feature for measurement, and an absolute location detection
means to detect the three-dimension absolute location of a car in a car A
geographical feature coordinate measurement means to ask for the
three-dimension location data in the car-body system of coordinates of said
geographical feature for measurement based on the image pick-up data of said
vision camera means, A coordinate transformation means to change into the

three-dimension location data in an absolute coordinate system the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the geographical feature for measurement searched for with said geographical feature coordinate measurement means using the detection data of said absolute location detection means, An image pickup position command means to order it the car location where the plurality for picturizing the geographical feature for measurement differs to a car with said image pick-up means, A geographical feature data origination means to carry out synthetic processing of the translation data of said coordinate transformation means based on the image pick-up data of said vision camera means in the car location where the plurality ordered by this image pickup position command means differs, and to create the geographical feature data of the geographical feature for measurement, *****
-- the geographical feature shape-measurement equipment characterized by making it like.

[Claim 2] It is geographical feature shape-measurement equipment according to claim 1 which is further equipped with an attitude-angle detection means detect the attitude angle of a car, and is characterized by for said coordinate-transformation means to change into the three-dimension location data in an absolute coordinate system the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the geographical feature for measurement

searched for with said geographical feature coordinate measurement means using the detection output of said attitude-angle detection means, and the detection data of said absolute location detection means.

[Claim 3] Said image pickup position command means is geographical feature shape-measurement equipment according to claim 1 which calculates the car location of a degree for picturizing the geographical feature for measurement continuously in the direction along the ground using the translation data of said coordinate transformation means based on said image pick-up data in the car location concerned, and is characterized by carrying out the sequential command of the this calculated car location at a car.

[Claim 4] Geographical feature shape-measurement equipment according to claim 1 characterized by having further an earth volume operation means to calculate the earth volume excavated based on the creation geographical feature data before and after digging of said geographical feature data origination means.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the geographical feature shape-measurement equipment which creates the overall geographical feature data of geographical features for measurement, such as a mine and a digging site, using a car.

[0002]

[Description of the Prior Art] In a mine, a quarry site, etc., in order to perform digging scheduling and production control, the terrain intelligence of a site is important. For this reason, he was trying to measure a geographical feature configuration in the former with the three-dimension location data which were run the digging site and obtained in the car which carried GPS at that time.

[0003] However, although the configuration of the ground which can run a car can be measured by this technique, the configuration of the natural ground set as the object of digging or construction or working face is immeasurable.

[0004] This invention was not made in view of such the actual condition, and aims at offering the geographical feature shape-measurement equipment which enabled it to measure efficiently the geographical feature configuration of the part which cannot run cars, such as a mine, a natural ground, and working face.

[0005]

[Means for Solving the Problem and its Function and Effect] While carrying the

vision camera means for measuring the distance to the geographical feature for measurement, and an absolute location detection means to detect the three-dimension absolute location of a car in a car in invention corresponding to claim 1 A geographical feature coordinate measurement means to ask for the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of said geographical feature for measurement based on the image pick-up data of said vision camera means, A coordinate transformation means to change into the three-dimension location data in an absolute coordinate system the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the geographical feature for measurement searched for with said geographical feature coordinate measurement means using the detection data of said absolute location detection means, An image pickup position command means to order it the car location where the plurality for picturizing the geographical feature for measurement differs to a car with said image pick-up means, He is trying to have a geographical feature data origination means to carry out synthetic processing of the translation data of said coordinate transformation means based on the image pick-up data of said vision camera means in the car location where the plurality ordered by this image pickup position command means differs, and to create the geographical feature data of the geographical feature for measurement.

[0006] In invention corresponding to this claim 1, it asks for the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the geographical feature for measurement based on the image pick-up data of a vision camera means carried in the car, and changes into the three-dimension location data in an absolute coordinate system based on the output of an absolute location detection means by which this three-dimension location data was carried in the car. The field where the visual field of a vision camera means is changed by changing a car location, and the geographical features for measurement differ is picturized, and the overall configuration data of the geographical feature for measurement are acquired by carrying out synthetic processing of the three-dimension location data in the absolute coordinate system of each field obtained from these image pick-up data.

[0007] Thus, since the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the geographical feature for measurement acquired from the image pick-up data of a vision camera means were changed into the absolute coordinate system according to invention corresponding to this claim 1, geographical feature for measurement of a picturized different field can be compounded now very easily, and the overview of the geographical feature for measurement can be acquired easily.

[0008] In invention corresponding to claim 2, since the attitude angle of a car

body is detected, a part for this detected attitude angle is amended and it asked for the three-dimension location data in the absolute coordinate system of the geographical feature for measurement, the configuration data of the more exact geographical feature for measurement can be obtained.

[0009] In invention corresponding to claim 3, since the car was ordered the image pickup position so that the geographical feature for measurement could be continuously picturized in the direction along the ground, it is lost that image pick-up data overlap greatly, or become intermittent, and the overview of the geographical feature for measurement can be acquired efficiently.

[0010] In invention corresponding to claim 4, since the earth volume excavated based on the geographical feature data before and after digging was calculated, the amount of digging can be judged from the volume. That is, the workload of a job site serves as useful technique for asking not by weight but by the volume to set [the].

[0011]

[Embodiment of the Invention] The operation gestalt of this invention is explained to a detail according to an accompanying drawing below.

[0012] Although drawing 1 shows the car 1 carrying geographical feature shape-measurement equipment and a car 1 performs transit control [which / of automatic transit, remote-control transit, or owner man transit], it shall have the

navigation function using GPS (global . positioning . sensor) etc. at least.

[0013] In this case, since a car 1 shall perform owner man transit, it has a GPS monitor for GPS navigation, the map the car is running is displayed on this GPS monitor, and it presupposes that it can display whether the car is located in which location on this map.

[0014] In the following examples, the geographical feature for measurement presupposes that it is the working face section of a natural ground.

[0015] In drawing 1 , in order to carry out the monitor of the three-dimensional overall configuration of a natural ground to a car 1 by the subject-copy image and to measure the three-dimension location to the car body 1 of a natural ground, it has the camera 2 as a vision camera means, and the distance to a natural ground is measured by the stereo method which used parallax with two cameras or multi-view cameras in this case.

[0016] That is, if the case of two cameras is mentioned as an example, the upper half of drawing 2 shall show the geographical feature picturized with the left camera, and a lower half shall show the same geographical feature part picturized with the right camera. First, two or more point matrices (i, j) are set up, for example to a left camera image. And it investigates to which point of the right camera images the image of one point (i, j) of a left camera image corresponds using technique, such as pattern matching. And if the point of corresponding is

searched for, it will ask for the location on the image of both [these] points, and such parallax d will be searched for further. And it asks for the distance data to a segment to which the distance between both cameras and the focal distance of both cameras other than this parallax d are used for, and both cameras are connected from a point (i, j) . It asks for distance data by performing such processing repeatedly about each point.

[0017] Depth map generation equipment 3 calculates the distance data to a natural ground as mentioned above. Thus, a depth map is displayed on a monitor 10 by changing the distance data d for every obtained pixel (i, j) into the gradation data according to distance d , and being outputted to a monitor 10. In addition, the subject-copy image picturized with the camera 2 is also inputted into the monitor 10, and a monitor 10 can display the both sides of a depth map and a subject-copy image.

[0018] Moreover, with depth map generation equipment 3, as mentioned above, the depth map data matched with the three-dimension information on (i, j, d) are changed into the three-dimension coordinate data $(Xp1, Yp1, Zp1)$ of car-body system-of-coordinates $X1-Y1-Z1$ which makes the predetermined point of a car 1 a zero, as shown in drawing 3.

[0019] The location measurement sensor 4 detects the three-dimension location of a car 1, and he is trying to use a GPS receiver for it in this case. That is, the

location measurement sensor 4 detects the home position (HX_0 , HY_0 , HZ_0) of car-body system-of-coordinates X_1 - Y_1 - Z_1 , as shown in drawing 3 . The three-dimension location data based on a GPS receiver are inputted through an antenna 5. In addition, based on the data obtained from the GPS receiver, the map of the area the car 1 is running on a monitor 10 is displayed, and it can indicate whether the car is located in which location on this map.

[0020] The angle-of-rotation detection sensor 6 consists of two inclinometers which detect the yaw rate gyro which detects the angle of rotation of the direction of a yaw of the car body of a car 1, and the pitching angle and angle of roll of a car body, and detects the angle of rotation of car-body 3 direction, i.e., a posture, based on these detection results. That is, in drawing 3 , if X_0 - Y_0 - Z_0 is made into an absolute coordinate system (groval coordinate system), from the angle-of-rotation detection sensor 6, the angle of rotation (RX_0 , RY_0 , RZ_0) of the car body showing the angle of rotation of car-body system-of-coordinates X_1 - Y_1 - Z_1 to groval coordinate system X_0 - Y_0 - Z_0 will be outputted.

[0021] In the geographical feature measurement section 7, the following three processings are mainly performed.

[0022] (a) Change into the three-dimension location data in an absolute coordinate system the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the natural ground obtained from depth map generation

equipment 3 using the output of the angle-of-rotation detection sensor 6 and the location measurement sensor 4.

(b) Compound the geographical feature data of two or more natural grounds picturized with the camera 2, and create the overall geographical feature data of a natural ground.

(c) It is ** about the car location (car location for an image pick-up) for photoing a natural ground continuously. ** is carried out. This calculated car location for an image pick-up is displayed on the navigation map of a monitor 10.

[0023] Below, with reference to the flow chart of drawing 4 , the procedure of performing the shape measurement of a natural ground is explained.

[0024] First, a car 1 is moved to the measurement starting position before the working face of a natural ground (step 100). Under the present circumstances, what is necessary is the distance of 37m or more being needed when picturizing working face with a width of face of 20m with the camera 2 of 30 field angles as shown in drawing 5 , but making it just move a car, looking at a depth map with a monitor 10 so that it may become the distance of 37m.

[0025] If a car is located in a measurement starting position, a natural ground will be picturized at this point using a camera 2. Although the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the natural ground obtained from depth map generation equipment 3 are changed into the

three-dimension location data in an absolute coordinate system in the geographical feature measurement section 7 using the output of the angle-of-rotation detection sensor 6 and the location measurement sensor 4, this is performed as follows.

[0026] As shown in drawing 3 , namely, the three-dimension coordinate data (Xp1, Yp1, Zp1) of the point P with car-body system-of-coordinates X1-Y1-Z1 Using the home position (HX0, HY0, HZ0) of car-body system-of-coordinates X1-Y1-Z1 inputted as the angle of rotation (RX0, RY0, RZ0) inputted from the angle-of-rotation detection sensor 6 from the location measurement sensor 4, as shown in a degree type (1) It is convertible for the coordinate location (Xp0, Yp0, Zp0) in absolute-coordinate-system X0-Y0-Z0.

[0027]

$$\begin{bmatrix} XP0 \\ YP0 \\ ZP0 \end{bmatrix} = MR0 \cdot \begin{bmatrix} XP1 \\ YP1 \\ ZP1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} HX0 \\ HY0 \\ HZ0 \end{bmatrix} \quad \text{..... (1)}$$

However, in the above-mentioned (1) formula, MR0 is the rotation matrix of car-body system of coordinates, and is expressed like a degree type (2) using the angle of rotation of a car body.

[0028]

$$\begin{aligned}
 MR0 = & \begin{bmatrix} \cos(RX0), \sin(RX0), 0 \\ -\sin(RX0), \cos(RX0), 0 \\ 0, 0, 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(RY0), 0, -\sin(RY0) \\ 0, 1, 0 \\ \sin(RY0), 0, \cos(RY0) \end{bmatrix} \\
 & * \begin{bmatrix} 1, 0, 0 \\ 0, \cos(RZ0), \sin(RZ0) \\ 0, -\sin(RZ0), \cos(RZ0) \end{bmatrix} \quad \text{----- (2)}
 \end{aligned}$$

It can ask for the three-dimension location data in the absolute coordinate system of the geographical feature picturized in the 1st image pickup position by performing processing by such formula (1) to each pixel of a depth map (step 110).

[0029] Next, the following image pick-up point for performing continuous geographical feature measurement of a natural ground is calculated.

[0030] That is, unless the next image pick-up point is set up proper, as shown in drawing 6, the area which is not picturized between the image pick-up area a0 section and the following image pick-up area b section cannot occur, or the field which an image pick-up overlaps becomes large too much, and efficient geographical feature measurement cannot be performed.

[0031] So, in this example, as shown in drawing 7, it asks for the image pick-up points A0, A1, and A2 and -- which can perform a continuous image pick-up one by one, and this processing that is made to picturize by moving a car 1 to this

***** photography point is performed as follows.

[0032] First, as shown in drawing 8 , based on the three-dimension location data in the absolute coordinate system for which it asked at step 110 of the depth map picturized on the 1st image pick-up point A0 (Xg0, Yg0, Zg0), or the point, the mean distance L to the natural ground picturized on the 1st image pick-up point (refer to drawing 9) is found.

[0033] Next, it asks for the measurement width of face L0, and asks for the formula of the straight line A which approximates the surface part of a natural ground further.

[0034] First, the three-dimension location data in the car-body system of coordinates of the natural ground obtained from depth map generation equipment 3 are amended using the car-body angle of rotation (RX0, RY0, RZ0) which can be acquired from the angle-of-rotation detection sensor 6. That is, using the angle of rotation (RX0, RY0, RZ0) inputted from the angle-of-rotation detection sensor 6, as shown in drawing 3 , the three-dimension coordinate data (Xp1, Yp1, Zp1) of the point P with car-body system-of-coordinates X1-Y1-Z1 is changed into a coordinate location (Xp2, Yp2, Zp2), as shown in a degree type (3).

[0035]

$$\begin{bmatrix} \text{XP2} \\ \text{YP2} \\ \text{ZP2} \end{bmatrix} = \text{MR0} * \begin{bmatrix} \text{XP1} \\ \text{YP1} \\ \text{ZP1} \end{bmatrix} \quad \text{----- (3)}$$

This changed data is projected on a Z-X flat surface. You may make it project the depth map of the part of the predetermined range of the direction of height Y at the time of this projection. For example, the direction of Y is set to 0-10m which is the range which an excavator reaches. A Z direction corresponds to the range direction caught with a camera 2, and the direction of X makes a horizontal direction and the direction of Y the height direction. Suppose that the projection image as shown in drawing 10 was obtained as a result of this projection. It is choosing the lowest point about the Z direction in this projection image (the black dot's showing), and carrying out straight-line approximation of these lowest points using the least square method etc., and is formula $A_pX+B_pZ+D=0$ of a straight line A. -- (4)

[0036] If X of the car-body location data inputted into this (4) type from the location measurement sensor 4 and Z component are added, it can ask for the formula in the absolute coordinate system of Line A like a degree type (5).

[0037]

$$A_p(X+HX_0)+B_p(Z+HZ_0)+D=0 \text{ -- (5)}$$

Moreover, the measurement width of face L0 can be calculated by searching for the coordinate of the both ends of the data of the lowest point of drawing 10 ,

and finding the distance between these coordinates (step 120).

[0038] Thus, if the approximate expression A of the front face of the measurement width of face L0 and the geographical feature for measurement can be found, it will ask for the line B parallel to the line A which passes along the 1st image pick-up point A0 (Xg0, Yg0, Zg0), and the point which only distance L0 separated from A0 point on this straight line B will be considered as the following image pick-up point A1.

[0039] That is, the line B which passes along A0 (Xg0, Yg0, Zg0) becomes like a degree type (6). $A_p X + B_p Z - (A_p X_{g0} + B_p Z_{g0}) = 0$ -- (6)

moreover, X of the following image pick-up point A1 and a Z coordinate -- a degree type (7) -- like

$$\begin{aligned} X &= X_{g0} + L_0 \cdot \frac{B_p}{\sqrt{A_p^2 + B_p^2}} \\ Z &= Z_{g0} - L_0 \cdot \frac{A_p}{\sqrt{A_p^2 + B_p^2}} \end{aligned} \quad \text{----- (7)}$$

It becomes (steps 130 and 140).

[0040] Thus, count of the location of the following image pick-up point A1 displays the following image pick-up point A1 on the navigation monitor of a monitor 10 based on this location data.

[0041] Seeing this display, an operator moves [point / A1 / following / image

pick-up] a car (step 150).

[0042] Hereafter, above-mentioned processing is repeated and it is made to perform it until measurement of all the fields of a natural ground is completed (step 160).

[0043] In the geographical feature measurement section 7, the overall configuration data of a natural ground are created by compounding the geographical feature data of two or more fields where the image pick-up points obtained by doing in this way differ. Since the geographical feature data of each field are expressed with the absolute coordinate system in the case of this composition, that synthetic processing can be performed now very easily, and the overview of the geographical feature for measurement can be acquired easily.

[0044] Moreover, since it operates sequentially, the image pick-up point for picturizing a natural ground continuously in the direction along the ground in this example is moved to these image pick-up points and it was made to picturize geographical feature, it is lost that image pick-up data overlap greatly, or become intermittent, and the overview of the geographical feature for measurement can be acquired efficiently.

[0045] In addition, in order to prevent that a measurement field is vacant with the error of measurement data etc., this migration length L_0 is set to $0.9 \times L_0$, and you

may make it make a measurement field overlap a little in the above-mentioned example, although the migration length L_0 to the following image pick-up point was set up without two or more measurement fields completely overlapping so that it might become continuous.

[0046] Moreover, you may make it change the horizontal include angle of camera 2 the very thing, or the horizontal include angle of a car body 1 so that the boundary section (it sets to drawing 8 , for example, they are P points) with the next measurement field measured on a certain image pick-up point A0 may go into the visual field of the camera in the case of an image pick-up with the following image pick-up point A1 certainly. In this case, what is necessary is just to calculate the include angle or car-body include angle of the camera 2 which can catch P points in the visual field of a camera on the image pick-up point A1 using these data, since each coordinate of A0 point, P points, and A1 point and the field angle of a camera 2 are known.

[0047] Moreover, as shown in previous drawing 6 , when the omission of a measurement field arises, you may make it compensate the measurement data of these parts using a interpolation operation etc.

[0048] Furthermore, the height of the geographical feature for measurement is high, and in an image pick-up, when the up field (part shown by Q of drawing 9) of the geographical feature for measurement cannot be picturized, it is made to

picturize by changing the include angle of a camera 2 up once. In this case, to form the sensor which detects change part thetac of the angle of rotation of the vertical direction of a camera 2, to carry out the rotation matrix shown in the previous formula (2) like a degree type (8), and what is necessary is just made to perform the coordinate transformation operation of a formula (1).

[0049]

$$\begin{aligned}
 MRO = & \begin{bmatrix} \cos(RX0), \sin(RX0), 0 \\ -\sin(RX0), \cos(RX0), 0 \\ 0, 0, 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(RY1), 0, -\sin(RY1) \\ 0, 1, 0 \\ \sin(RY1), 0, \cos(RY1) \end{bmatrix} \\
 & * \begin{bmatrix} 1, 0, 0 \\ 0, \cos(RZ0), \sin(RZ0) \\ 0, -\sin(RZ0), \cos(RZ0) \end{bmatrix} \quad \text{----- (8)}
 \end{aligned}$$

The difference between a formula (2) and a formula (8) only changed RY0 to RY1. However, it is RY1=RY0+thetac.

[0050] Thus, since the three-dimension location data which the include angle of a camera 1 was changed up and down, and were obtained are also an absolute coordinate system, it is easily compoundable with the three-dimension location data of a downward measurement field.

[0051] By the way, if it is made to acquire in front of digging of the three-dimension location data of the working face which can be obtained as mentioned above, and in the back, as it is shown in drawing 11 using them, earth

volume can be calculated easily.

[0052] That is, although drawing 11 (a) shows the three-dimension configuration of the working face before digging and drawing 11 (b) shows the three-dimension configuration of the working face after digging, it can ask for the volume of the working face before and behind digging from these 3-dimensional each configuration data, respectively, and the earth volume of this digging can be calculated by calculating these differences. Moreover, as shown in drawing 11 (c) from the three-dimension configuration of the working face before and behind digging, it can also ask for the actually excavated configuration data of a part, and you may make it calculate earth volume from the actually excavated configuration data of a part. Usually, although calculated in totaling the weight of the dump truck which loaded earth and sand, since he is trying for earth volume to calculate excavated soil quantity based on the configuration of the working face part of the side excavated in this case, if the condition of the first working face and the condition of final working face are measured even when digging and a loading activity are done repeatedly, it can calculate total-earth volume easily at once.

[0053] Moreover, if the three-dimension location data of the working face obtained as mentioned above are measured every [every day or] several days and it is made to carry out storage preservation of these measurement data, the

historical data of digging will be obtained and it is very useful because of digging scheduling or production control.

[0054] In addition, if the location measurement sensors 4, such as a stereoscopic camera 2 and GPS, the angle-of-rotation detection sensor 6, and depth map generation equipment 3 are carried in a car and these data are transmitted to a base station on radio etc. at least when making remote control and automatic transit perform on the car 1 of an example, components, such as other geographical feature measurement sections 7 and a monitor 10, are omissible from a car 1.

[0055] Moreover, what is necessary is making it just display each image pick-up point location on the remote-operation board, when performing remote control, although each image pick-up point location's was displayed on the GPS monitor on a car since the case owner man transit having been performed in the above-mentioned example was taken for the example. Moreover, what is necessary is not to carry out the monitor display of each image pick-up point location, and just to order the automatic transit control system of a car each calculated image pick-up point location for migration of a car, especially when making automatic transit perform.

[0056] Moreover, a car 1 is used as excavators, such as a power shovel and a wheel loader, and you may make it carry the component of drawing 1 in these

excavators.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram showing the example of this invention.

[Drawing 2] Drawing explaining the principle of the distance measurement by the stereoscopic camera method.

[Drawing 3] Drawing showing the relation between car-body system of coordinates and an absolute coordinate system.

[Drawing 4] The flow chart which shows the procedure of geographical feature measurement.

[Drawing 5] Drawing showing the arrangement relation between the geographical feature for measurement, and a stereoscopic camera.

[Drawing 6] The explanatory view in the case of performing intermittent measurement.

[Drawing 7] The explanatory view at the time of performing continuous measurement.

[Drawing 8] Drawing explaining the technique of asking for the following image

pick-up point for performing continuous measurement.

[Drawing 9] Drawing explaining the distance L a camera and for measurement.

[Drawing 10] Explanation for searching for the car migration direction for asking for the following image pick-up point. Drawing

[Drawing 11] Drawing explaining the technique for managing earth volume.

[Description of Notations]

1 -- Measurement car

2 -- Stereoscopic camera

3 -- Depth map generation equipment

4 -- Location measurement sensor

5 -- Antenna

6 -- Angle-of-rotation detection sensor

7 -- Geographical feature measurement section

10 -- Monitor

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I
G 0 1 C 15/00		G 0 1 C 15/00 A
E 2 1 D 9/06	3 0 1	E 2 1 D 9/06 3 0 1 P
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00 H
G 0 1 C 3/06		G 0 1 C 3/06 V
19/00		19/00 Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-10690

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月22日

(71) 出願人 000001236

株式会社小松製作所

東京都港区赤坂二丁目3番6号

(72) 発明者 水井 精一

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

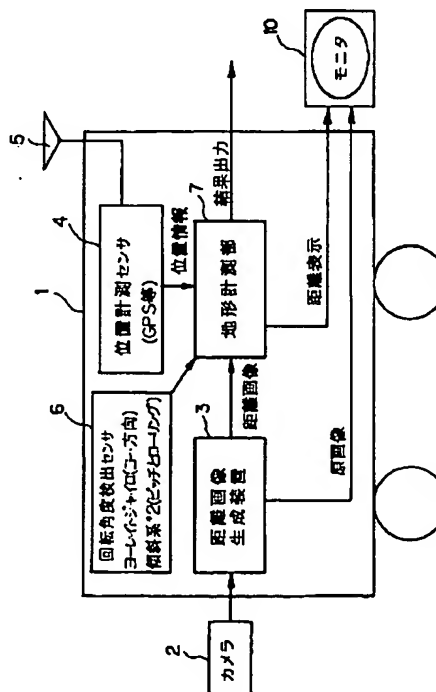
(74) 代理人 弁理士 木村 高久

(54) 【発明の名称】 地形形状計測装置

(57) 【要約】

【課題】 鉱山、地山、切羽などの車両が走行することができない部分の地形形状を効率よく計測できるようにする。

【解決手段】 計測対象地形までの距離を計測するための視覚カメラ手段2と、車両の3次元絶対位置を検出する絶対位置検出手段4とを車両に搭載するとともに、前記視覚カメラ手段2の撮像データに基づいて前記計測対象地形の車体座標系における3次元位置データを求める地形座標計測手段3と、前記絶対位置検出手段4の検出データを用いて前記地形座標計測手段3によって求めた計測対象地形の車体座標系における3次元位置データを絶対座標系における3次元位置データに変換する座標変換手段7と、前記撮像手段によって計測対象地形を撮像するための複数の異なる車両位置を車両に対して指令する撮像位置指令手段7と、この撮像位置指令手段によって指令された複数の異なる車両位置における前記視覚カメラ手段の撮像データに基づく前記座標変換手段の変換データを合成処理して計測対象地形の地形データを作成する地形データ作成手段7とを具えるようにしている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】計測対象地形までの距離を計測するための視覚カメラ手段と、
車両の 3 次元絶対位置を検出する絶対位置検出手段と、
を車両に搭載すると共に、
前記視覚カメラ手段の撮像データに基づいて前記計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを求める地形座標計測手段と、
前記絶対位置検出手段の検出データを用いて前記地形座標計測手段によって求めた計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを絶対座標系における 3 次元位置データに変換する座標変換手段と、
前記撮像手段によって計測対象地形を撮像するための複数の異なる車両位置を車両に対して指令する撮像位置指令手段と、
この撮像位置指令手段によって指令された複数の異なる車両位置における前記視覚カメラ手段の撮像データに基づく前記座標変換手段の変換データを合成処理して計測対象地形の地形データを作成する地形データ作成手段と、
を具えるようにしたことを特徴とする地形形状計測装置。

【請求項 2】車両の姿勢角を検出する姿勢角検出手段を更に具え、
前記座標変換手段は、前記姿勢角検出手段の検出出力および前記絶対位置検出手段の検出データを用いて前記地形座標計測手段によって求めた計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを絶対座標系における 3 次元位置データに変換するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の地形形状計測装置。

【請求項 3】前記撮像位置指令手段は、当該車両位置における前記撮像データに基づく前記座標変換手段の変換データを用いて計測対象地形を地面に沿った方向に連続的に撮像するための次の車両位置を演算し、該演算した車両位置を車両に順次指令することを特徴とする請求項 1 記載の地形形状計測装置。

【請求項 4】前記地形データ作成手段の掘削の前後の作成地形データに基づき掘削された土工量を演算する土工量演算手段を更に備えるようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の地形形状計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、車両を用いて鉱山や掘削現場などの計測対象地形の全体的な地形データを作成する地形形状計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】鉱山、採石現場などにおいては、掘削スケジューリングや工程管理を行うために、現場の地形情報は重要である。このため、従来においては、GPS を搭載した車両を掘

削現場を走行させ、その際得られた 3 次元位置データによって地形形状を計測するようにしていた。

【0003】しかしながら、この手法では、車両が走行することができる地面の形状を測定することはできるが、掘削や工事の対象となる地山や切羽の形状を計測することはできない。

【0004】この発明はこのような実情に鑑みてなされたもので、鉱山、地山、切羽などの車両が走行することができない部分の地形形状を効率よく計測できるようにした地形形状計測装置を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段及び作用効果】請求項 1 に対応する発明では、計測対象地形までの距離を計測するための視覚カメラ手段と、車両の 3 次元絶対位置を検出する絶対位置検出手段とを車両に搭載するとともに、前記視覚カメラ手段の撮像データに基づいて前記計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを求める地形座標計測手段と、前記絶対位置検出手段の検出データを用いて前記地形座標計測手段によって求めた計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを絶対座標系における 3 次元位置データに変換する座標変換手段と、前記撮像手段によって計測対象地形を撮像するための複数の異なる車両位置を車両に対して指令する撮像位置指令手段と、この撮像位置指令手段によって指令された複数の異なる車両位置における前記視覚カメラ手段の撮像データに基づく前記座標変換手段の変換データを合成処理して計測対象地形の地形データを作成する地形データ作成手段とを具えるようにしている。

【0006】この請求項 1 に対応する発明では、車両に搭載した視覚カメラ手段の撮像データに基づき計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを求め、この 3 次元位置データを車両に搭載した絶対位置検出手段の出力に基づき絶対座標系での 3 次元位置データに変換する。車両位置を変化させることで視覚カメラ手段の視野を異ならせて計測対象地形の異なる領域を撮像し、これら撮像データから得られた各領域の絶対座標系での 3 次元位置データを合成処理することで、計測対象地形の全体的な形状データを取得する。

【0007】このようにこの請求項 1 に対応する発明によれば、視覚カメラ手段の撮像データから得られた計測対象地形の車体座標系における 3 次元位置データを絶対座標系に変換するようにしたので、撮像した異なる領域の計測対象地形の合成を極めて簡単に行えるようになり、計測対象地形の全体像を容易に取得できるようになる。

【0008】請求項 2 に対応する発明では、車体の姿勢角を検出し、この検出した姿勢角分を補正して計測対象地形の絶対座標系における 3 次元位置データを求めるようにしたので、より正確な計測対象地形の形状データを

【0009】請求項3に対応する発明では、計測対象地形を地面に沿った方向に連続的に撮像できるように撮像位置を車両に指令するようにしたので、撮像データが大きくなり、オーバーラップしたり、間欠的になったりすることがなくなり、計測対象地形の全体像を効率よく取得できるようになる。

【0010】請求項4に対応する発明では、掘削の前後の地形データに基づき掘削された土工量を演算するようにしたので、その体積から掘削量を判断できるようになる。すなわち、建設現場の仕事量は重量ではなく体積で

【0011】

【発明の実施の形態】以下この発明の実施形態を添付図面に従って詳細に説明する。

【0012】図1は、地形形状計測装置を搭載した車両1を示すもので、車両1は、自動走行、遠隔操縦走行、または有人走行の何れの走行制御を行うものでもよいが、少なくともGPS（グローバル・ポジショニング・センサ）などを用いたナビゲーション機能を有している

【0013】この場合には、車両1は有人走行を行うものとするので、GPSナビゲーション用のGPSモニタを有し、このGPSモニタ上には車両が走行している地図が表示され、この地図上のいずれの位置に車両が位置しているかを表示することができるとする。

【0014】以下の実施例では、計測対象地形は地山の切羽部であるとする。

【0015】図1において、車両1には、地山の立体的な全体的形状を原画像でモニタするためと、地山の車体1に対する3次元位置を測定するために、視覚カメラ手段としてのカメラ2が備えられており、この場合は2台のカメラまたは多眼カメラによる視差を利用したステレオ法により、地山までの距離を測定する。

【0016】すなわち、カメラ2台の場合を例にあげると、図2の上半分は左カメラによって撮像された地形を示すもので、下半分は右カメラによって撮像された同じ地形部分を示すものとする。まず、例えば左カメラ画像に対し、複数の点マトリックス (i, j) を設定する。そして、左カメラ画像の1つの点 (i, j) の画像が右カメラ画像のうちのどの点に対応するかをパターンマッチングなどの手法を用いて探査する。そして、対応する点が求められると、これら両点の画像上での位置を求め、さらにこれらの視差 d を求める。そして、該視差 d の他に、両カメラ間の距離、両カメラの焦点距離を用いて点 (i, j) から両カメラを結ぶ線分までの距離データを求める。このような処理を、各点に関して繰り返し実行することにより距離データを求める。

【0017】距離画像生成装置3は、上記のようにして地山までの距離データを演算する。このようにして得ら

れた各 (i, j) 画素毎の距離データ d は、距離 d に応じた階調データに変換されモニタ10に出力されることにより、モニタ10に距離画像が表示される。なお、モニタ10にはカメラ2で撮像した原画像も入力されており、モニタ10は距離画像および原画像の双方を表示することができる。

【0018】また、距離画像生成装置3では、前述したように、 (i, j, d) の3次元情報に対応付けられた距離画像データを、図3に示すように、車両1の所定地点を原点とする車体座標系 $X1-Y1-Z1$ の3次元座標データ $(Xp1, Yp1, Zp1)$ に変換する。

【0019】位置計測センサ4は、車両1の3次元位置を検出するもので、この場合は、GPS受信機を用いているようにしている。すなわち、位置計測センサ4は、図3に示すように、車体座標系 $X1-Y1-Z1$ の原点位置 $(HX0, HY0, HZ0)$ を検出する。GPS受信機による3次元位置データは、アンテナ5を介して入力される。なお、GPS受信機から得られたデータに基づいてモニタ10上に、車両1が走行しているエリアの地図が表示され、この地図上のいずれの位置に車両が位置しているかを表示することができる。

【0020】回転角度検出センサ6は、例えば、車両1の車体のヨー方向の回転角を検出するヨーレイトジャイロと、車体のピッチング角およびローリング角を検出する2つの傾斜計から成り、これらの検出結果に基づき車体3方向の回転角、すなわち姿勢を検出する。すなわち、図3において、 $X0-Y0-Z0$ を絶対座標系（全体座標系）とすると、回転角検出センサ6からは、全体座標系 $X0-Y0-Z0$ に対する車体座標系 $X1-Y1-Z1$ の回転角を表す車体の回転角 $(RX0, RY0, RZ0)$ を出力される。

【0021】地形計測部7では、主につぎの3つの処理を実行する。

【0022】(a)距離画像生成装置3から得られた地山の車体座標系における3次元位置データを回転角度検出センサ6および位置計測センサ4の出力を用いて絶対座標系における3次元位置データに変換する。

(b)カメラ2で撮像した複数箇所の地山の地形データを合成して地山の全体的な地形データを作成する。

(c)地山を連続的に撮影する為の車両位置（撮像用車両位置）を演算する。この演算された撮像用車両位置は、モニタ10のナビゲーションマップ上に表示される。

【0023】つぎに、図4のフローチャートを参照して、地山の形状計測を行う手順について説明する。

【0024】まず、車両1を地山の切羽の手前の計測開始位置まで移動する（ステップ100）。この際、図5に示すように、画角30度のカメラ2で幅20mの切羽を撮像する場合、37m以上の距離が必要になるが、モニタ10で距離画像を見ながら37mの距離になるよう

10

20

30

40

50

車両を移動させるようにすればよい。

【0025】車両が計測開始位置に位置すると、この地点でカメラ2を用いて地山を撮像する。地形計測部7では、距離画像生成装置3から得られた地山の車体座標系における3次元位置データを回転角度検出センサ6および位置計測センサ4の出力を用いて絶対座標系における3次元位置データに変換するのであるが、これは次のようにして行われる。

【0026】すなわち、図3に示すように、車体座標系*

$$\begin{bmatrix} XP0 \\ YP0 \\ ZP0 \end{bmatrix} = MR0 * \begin{bmatrix} XP1 \\ YP1 \\ ZP1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} HX0 \\ HY0 \\ HZ0 \end{bmatrix} \quad \text{----- (1)}$$

ただし、上記(1)式において、MR0は、車体座標系の回転マトリクスであり、車体の回転角を用いて次式

$$MR0 = \begin{bmatrix} \cos(RX0), \sin(RX0), 0 \\ -\sin(RX0), \cos(RX0), 0 \\ 0, 0, 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(RY0), 0, -\sin(RY0) \\ 0, 1, 0 \\ \sin(RY0), 0, \cos(RY0) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1, 0, 0 \\ 0, \cos(RZ0), \sin(RZ0) \\ 0, -\sin(RZ0), \cos(RZ0) \end{bmatrix} \quad \text{----- (2)}$$

このような式(1)での処理を距離画像の各画素に対して行う事で、第1番目の撮像位置で撮像した地形の絶対座標系での3次元位置データを求めることができる(ステップ110)。

【0029】次に、地山の連続的な地形計測を行うための次の撮像ポイントを演算する。

【0030】すなわち、次の撮像地点が適正に設定されない、図6に示すように、撮像エリアa0部とつぎの撮像エリアb部の間に撮像されていないエリアが発生したり、あるいは撮像がオーバーラップする領域が大きくなりすぎたりして効率の良い地形計測を行う事ができない。

【0031】そこで、この実施例では、図7に示すように、連続的な撮像が行える撮像ポイントA0, A1, A2, ...を順次求め、該求めた撮影ポイントに車両1を移動させて撮像を行うようにしているこの処理は次のようにして行われる。

【0032】まず、図8に示すように、第1番目の撮像★40

$$\begin{bmatrix} XP2 \\ YP2 \\ ZP2 \end{bmatrix} = MR0 * \begin{bmatrix} XP1 \\ YP1 \\ ZP1 \end{bmatrix} \quad \text{----- (3)}$$

この変換したデータをZ-X平面上に投影する。この投影のときに、高さY方向の所定の範囲の部分の距離画像を投影するようにしてもよい。例えば、Y方向は掘削機のとどく範囲である0~10mとする。Z方向はカメラ2によって捉える距離方向に対応し、X方向は水平方向、Y方向は高さ方向とする。この投影の結果、図10

* X1-Y1-Z1のある点Pの3次元座標データ(Xp1, Yp1, Zp1)は、回転角度検出センサ6から入力される回転角(RX0, RY0, RZ0)と、位置計測センサ4から入力される車体座標系X1-Y1-Z1の原点位置(HX0, HY0, HZ0)を用いて、次式(1)に示すように、絶対座標系X0-Y0-Z0における座標位置(Xp0, Yp0, Zp0)に変換することができる。

【0027】

※(2)のように表される。

【0028】

★ポイントA0(Xg0, Yg0, Zg0)で撮像した距離画像あるいは先のステップ110で求めた絶対座標系における3次元位置データに基づいて、第1番目の撮像ポイントで撮像した地山までの平均距離L(図9参照)を求める。

【0033】つぎに、計測幅L0を求め、さらに地山の表面部分を近似する直線Aの式を求める。

【0034】まず、距離画像生成装置3から得られた地山の車体座標系における3次元位置データを回転角度検出センサ6から得られる車体回転角(RX0, RY0, RZ0)を用いて補正する。すなわち、図3に示すように、車体座標系X1-Y1-Z1のある点Pの3次元座標データ(Xp1, Yp1, Zp1)は、回転角度検出センサ6から入力される回転角(RX0, RY0, RZ0)を用いて、次式(3)に示すように、座標位置(Xp2, Yp2, Zp2)に変換する。

【0035】

に示すような投影画像が得られたとする。この投影画像中のZ方向についての最下点を選択し(黒丸で示している)、これらの最下点を最小2乗法などを用いて直線近似することで直線Aの式
ApX+BpZ+D=0
を求める。

【0036】この(4)式に、位置計測センサ4から入力される車体位置データのX、Z成分を付加すれば、次式(5)のように、線Aの絶対座標系での式を求めること*とができる。

【0037】

$$A_p(X+HX_0) + B_p(Z+HZ_0) + D = 0 \quad \dots (5)$$

また、計測幅L0は、図10の最下点のデータの両端の座標を求め、これら座標間の距離を求める事で演算することができる(ステップ120)。

※(Xg0, Yg0, Zg0)を通る線Aに平行な線Bを求め、この直線B上のA0地点から距離L0だけ離れた地点を次の撮像ポイントA1とする。

【0038】このようにして、計測幅L0と計測対象地形の表面の近似式Aが求まると、第1撮像ポイントA0

※すなわち、A0(Xg0, Yg0, Zg0)を通る線Bは次式(6)のようになり、

$$A_p X + B_p Z - (A_p X_{g0} + B_p Z_{g0}) = 0 \quad \dots (6)$$

また、次の撮像ポイントA1のX、Z座標は、次式★(7)のように

$$\begin{aligned} X &= X_{g0} + L0 \cdot \frac{B_p}{\sqrt{A_p^2 + B_p^2}} \\ Z &= Z_{g0} - L0 \cdot \frac{A_p}{\sqrt{A_p^2 + B_p^2}} \end{aligned} \quad \dots (7)$$

なる(ステップ130、140)。

【0040】このようにして、次の撮像ポイントA1の位置が計算されると、この位置データに基づいて、次の撮像ポイントA1をモニタ10のナビゲーションモニタ上に表示する。

【0041】この表示をみて、運転者は車両を次の撮像ポイントA1まで移動させる(ステップ150)。

【0042】以下、地山の全ての領域の計測が終了するまで、上述の処理を繰り返し行うようにする(ステップ160)。

【0043】地形計測部7では、このようにして得られた撮像ポイントの異なる複数の領域の地形データを合成することで、地山の全体的な形状データを作成する。この合成の際、各領域の地形データは絶対座標系で表されているので、その合成処理を極めて簡単に行えるようになり、計測対象地形の全体像を容易に取得できる。

【0044】また、この実施例では、地山を地面に沿った方向に連続的に撮像するための撮像ポイントを順次演算し、これらの撮像ポイントに移動して地形の撮像を行うようにしたので、撮像データが大きくオーバーラップしたり、間欠的になったりすることがなくなり、計測対象地形の全体像を効率よく取得できるようになる。

【0045】なお、上記実施例においては、複数の計測領域が全くオーバーラップすることなく連続的になるように、次の撮像ポイントまでの移動距離L0を設定するようにしたが、計測データの誤差などによって計測領域☆

☆が空いてしまうことを防止するために、この移動距離L0を例えば0.9×L0とし、計測領域を若干オーバーラップさせるようにしてもよい。

【0046】また、ある撮像ポイントA0で計測した次の計測領域との境界部(図8において例えばP点)が次の撮像ポイントA1での撮像の際のカメラの視野に確実に入るように、カメラ2自体の水平方向の角度あるいは車体1の水平方向の角度を変更するようにしてもよい。この際には、A0地点、P点、A1地点の各座標およびカメラ2の画角が判っているので、これらのデータを用いて撮像ポイントA1でP点をカメラの視野内に捉えることができるカメラ2の角度、あるいは車体角度を演算するようにすればよい。

【0047】また、先の図6に示したように、計測領域の抜けが生じた場合は、これらの部分の計測データを補間演算などを用いて補うようにしてもよい。

【0048】さらに、計測対象地形の高さが高く、一度の撮像では計測対象地形の上部領域(図9のQで示す部分)が撮像できない場合は、カメラ2の角度を上方に変化させて撮像を行うようにする。この際には、カメラ2の上下方向の回転角の変化分θcを検出するセンサを設け、先の式(2)に示した回転マトリックスを次式

(8)のようにして、式(1)の座標変換演算を行うようにすればよい。

【0049】

$$\begin{aligned} MRO &= \begin{bmatrix} \cos(RX0), \sin(RX0), 0 \\ -\sin(RX0), \cos(RX0), 0 \\ 0, 0, 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(RY1), 0, -\sin(RY1) \\ 0, 1, 0 \\ \sin(RY1), 0, \cos(RY1) \end{bmatrix} \\ &* \begin{bmatrix} 1, 0, 0 \\ 0, \cos(RZ0), \sin(RZ0) \\ 0, -\sin(RZ0), \cos(RZ0) \end{bmatrix} \quad \dots (8) \end{aligned}$$

式(2)と式(8)の違いは、 $RY0$ が $RY1$ に変わっただけである。ただし、 $RY1 = RY0 + \theta c$ である。

【0050】このようにカメラ1の角度を上下に変化させて得られた3次元位置データも絶対座標系であるので、下方の計測領域の3次元位置データと簡単に合成することができる。

【0051】ところで、以上のようにして得ることができる切羽の3次元位置データを掘削の前と後で取得するようにすれば、それらを用いて図11に示すようにして土工量を簡単に演算することができる。

【0052】すなわち、図11(a)は掘削前の切羽の3次元形状を示すものであり、図11(b)は掘削後の切羽の3次元形状を示すものであるが、これらの各3次元形状データから掘削前後の切羽の体積をそれぞれ求め、これらの差を演算することで今回の掘削の土工量を求めることができる。また、掘削前後の切羽の3次元形状から図11(c)に示すように実際に掘削された部分の形状データを求めることもでき、実際に掘削された部分の形状データから土工量を演算するようにしてもよい。通常、土工量は、土砂を積み込んだダンプトラックの重量を累計することで演算されるが、この場合は掘削される側の切羽部分の形状に基づき掘削土工量を演算するようにしているので、何回も掘削、積み込み作業が行われた場合でも、最初の切羽の状態と最終的な切羽の状態を計測するようにすれば、トータルの土工量を一度に簡単に求めることができる。

【0053】また、上述のようにして得られる切羽の3次元位置データを毎日や数日置きに計測し、これらの計測データを記憶保存しておくようにすれば、掘削の履歴データが得られることになり、掘削スケジューリングや工程管理のために非常に有用である。

【0054】なお、実施例の車両1に遠隔操縦や自動走行を行わせる場合は、少なくとも、ステレオカメラ2、GPSなどの位置計測センサ4、回転角度検出センサ6および距離画像生成装置3を車両に搭載し、これらのデータを無線などで基地局に伝送するようにすれば、他の地形計測部7やモニタ10などの構成要素は車両1から省略することができる。

*【0055】また、上記実施例では有人走行を行う場合を例にとったので、各撮像ポイント位置を車両上のGPSモニタ上に表示するようにしたが、遠隔操縦を行う場合は各撮像ポイント位置を遠隔操作盤上に表示させるようにすればよい。また自動走行を行わせる場合は、特に車両の移動のためには各撮像ポイント位置をモニタ表示する必要はなく、演算した各撮像ポイント位置を車両の自動走行制御系に指令するようにすればよい。

10 【0056】また、車両1をパワーショベルやホイールローダなどの掘削機とし、これら掘削機に図1の構成要素を搭載するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例を示すブロック図。

【図2】ステレオカメラ法による距離計測の原理を説明する図。

【図3】車体座標系と絶対座標系の関係を示す図。

【図4】地形計測の手順を示すフローチャート。

【図5】計測対象地形とステレオカメラの配置関係を示す図。

20 【図6】間欠的な計測を行う場合の説明図。

【図7】連続的な計測を行う際の実施例を示す図。

【図8】連続的な計測を行うための次の撮像ポイントを求める手法を説明する図。

【図9】カメラと計測対象との距離 L を説明する図。

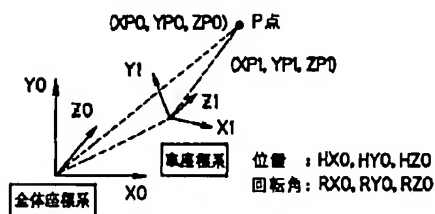
【図10】次の撮像ポイントを求めるための車両移動方向を求めるための説明図。

【図11】土工量の管理を行うための手法を説明する図。

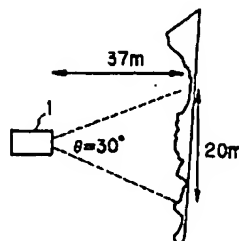
【符号の説明】

- 30 1…計測車両
2…ステレオカメラ
3…距離画像生成装置
4…位置計測センサ
5…アンテナ
6…回転角度検出センサ
7…地形計測部
10…モニタ

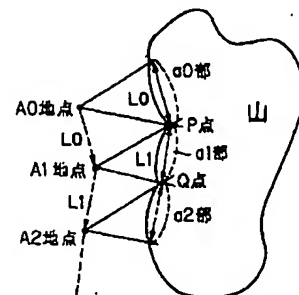
【図3】



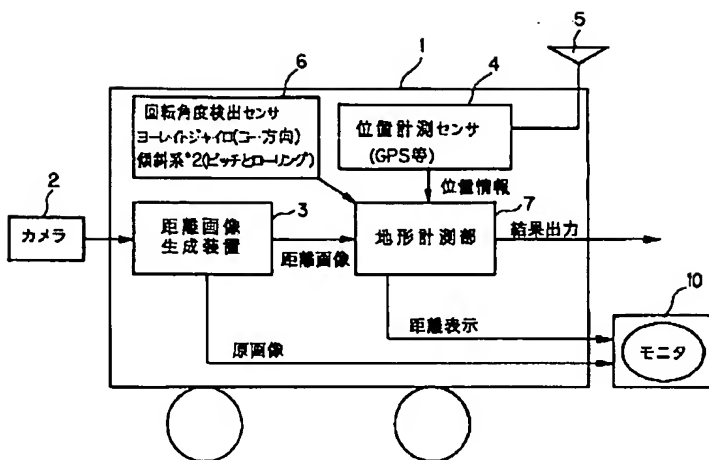
【図5】



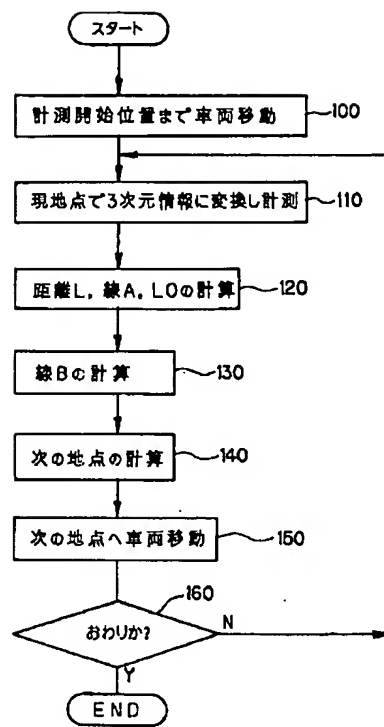
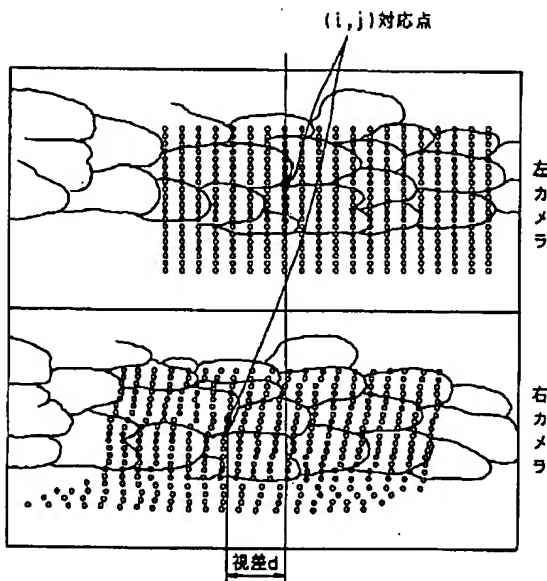
【図7】



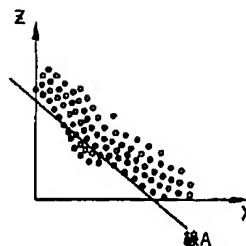
【図 4】



【图2】

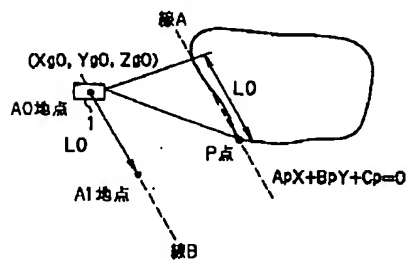
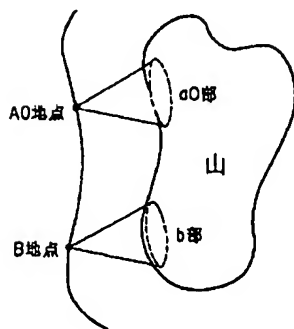


【図 10】

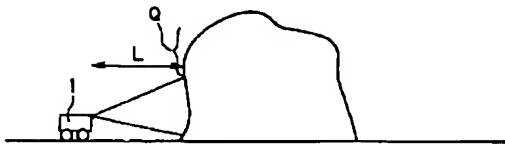


【図 6】

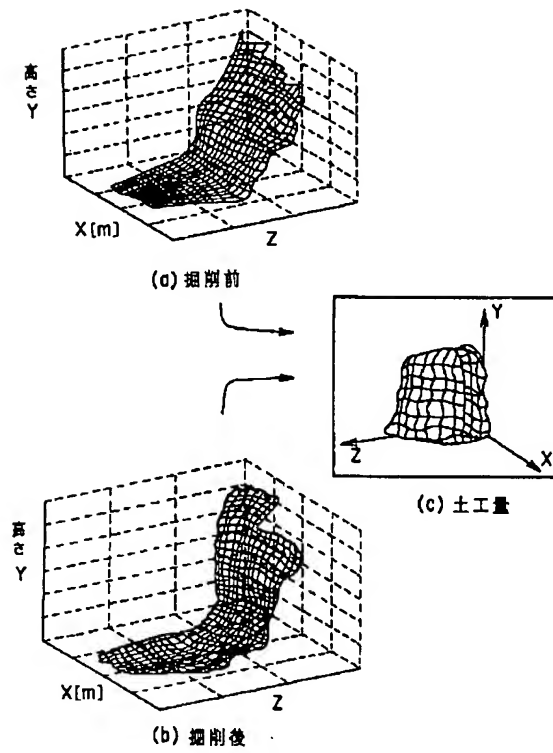
【图 8】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶
G 0 9 B 29/10

識別記号

F I
G 0 9 B 29/10

A